

# TALOTEHTAALLA KÄYTETTÄVÄN PUUTAVARAN KOSTEUSKÄYTTÄYTYMINEN TUOTANTOPRO- SESSIN AIKANA JA SEN VAIKUTUKSET VALMIS- TUKSEEN JA TUOTTEEN LAATUUN

Teemu Torvinen

Opinnäytetyö  
Tekniikan ala  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ala  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Teemu Torvinen	<b>Vuosi</b>	2016
<b>Ohjaaja</b>	Kai Ryytänen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Kontiotuote Oy		
<b>Työn nimi</b>	Talotehtaalla käytettävän puutavaran kosteuskäyttäytymisen tuotantoprosessin aikana ja sen vaikutukset valmistukseen ja tuotteen laatuun		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	37 + 4		

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Kontiotuote Oy:n hirsitalotehtaalla käytettävän puutavaran kosteuskäyttäytymistä varastoinnin aikana sekä kosteuden vaikutuksia tuotteen valmistamiseen ja sen laatuun.

Työssä kerrotaan puun fysikaalisista ominaisuuksista, kosteudesta aiheutuvista ongelmista sekä puutavaran kuivaamisesta ja varastoinnista teollisen tuotannon näkökulmasta. Tutkimusaineisto koostuu kirjallisista lähteistä ja yrityksen omasta puutavaran jalostamiseen liittyvästä kokemukseräisestä tiedosta.

Työn tarkoituksena oli tutkimustiedon ja mittaustulosten avulla löytää keinoja talotehtaalla käytettävien raaka-aineiden tehokkaaseen hyödyntämiseen ja varastointiin. Tutkimuksen pohjalta pystyttiin havainnoimaan varastoinnista syntyviä kosteusongelmia.

Kuivaamisen ja varastoinnin merkitys kosteuden hallinnassa ovat lopputuotteen valmistamisen ja asiakaslaadun kannalta tärkeimmässä osassa. Tuotantoketjun kulkua tukista lopputuotteeksi pystyttäisiin parantamaan, jos kosteudesta aiheutuvia ongelmia voitaisiin vähentää näissä tuotannon vaiheissa.

Technology, Communication and  
Transport  
Civil Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Teemu Torvinen	<b>Year</b>	2016
<b>Supervisor(s)</b>	Kai Ryyänänen		
<b>Commissioned by</b>	Kontiotuote Ltd		
<b>Subject of thesis</b>	The moisture behaviour of wood materials which are used in log house factory and its effects to manufacturing and quality		
<b>Number of pages</b>	37 + 4		

---

This thesis studies moisture behaviour during storage and its effects to manufacturing and the quality of wood materials which are used in Kontiotuote Ltd log house factory.

This thesis describes the physical properties of wood, the problems caused by moisture and drying and storage from the manufacturing point of view. The Research material consists of literary sources and company's own experiential knowledge of processing timber.

The purpose of thesis was using research information and measurement results to find ways for efficient utilization of timber and its storage. Based on the study it was possible to observe moisture problems which are caused by storage.

Controlling moisture by drying and storage is important for manufacturing and customer quality. The production flow from the log into a finished product could be improved if the problems caused by moisture could be reduced in these stages of production.

Key words

timber, moisture, manufacturing, storage, quality

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	PUUN OMINAISUUKSIA .....	6
2.1	Puun kosteustekniset ominaisuudet .....	7
2.2	Puun lujuusominaisuudet .....	8
2.3	Palotekniset ominaisuudet .....	9
3	KOSTEUSTESTA RIIPPUVAISET PUUN BIOLOGISET VAURIOT .....	10
3.1	Bakteerit .....	10
3.2	Homesienet .....	10
3.3	Sinistäjä sienet .....	12
3.4	Lahottajasienet .....	13
4	PUUMATERIAALIN KUIVAUS .....	15
4.1	Puun kosteus ja sen mittaaminen .....	15
4.2	Kuivaamotyypit ja kuivausmenetelmät .....	16
4.3	Kuivauskaavat .....	17
4.4	Kuivauksen laatu .....	18
5	PUUTAVARAN VARASTOINTI .....	21
5.1	Varastoinnin vaikutukset puuhun .....	21
5.2	Varastoinnista koituvat kustannukset .....	21
5.3	Sahatavaravarastot .....	22
6	PUUN KOSTEUS VALMISTUKSESSA JA VALMIISSA TUOTTEESSA .....	25
6.1	Valmistaminen .....	25
6.2	Asentaminen ja laatu .....	26
7	TUTKIMUSTYÖ KONTIOTUOTTEELLA .....	28
7.1	Kosteuden mittaaminen .....	28
7.2	Tulokset .....	30
7.3	Tulosten tarkastelu .....	33
8	POHDINTA .....	34
	LÄHTEET .....	36
	LIITTEET .....	37

## 1 JOHDANTO

Kontiotuote Oy on maailman suurin hirsitalovalmistaja, joka on osa PRT-Forest konsernia. Yrityksen tehdas sijaitsee Pudasjärvellä, jossa valmistetaan vuosittain 1500–1700 rakennusta alusta loppuun yhtiön tuotantolinjoilla. Hirsituotteista lamellihirsi on yhtiön päätuote. Kontiotuotteen päämarkkina-alue on kotimaa ja viennin osuus vuositasolla on noin 20 % liikevaihdosta.

Opinnäytetyön idea syntyi työskennellessäni Kontiotuotteen tehtaalla harjoitteluksesinä. Tarjosin ideaa silloiselle esimiehelleni, joka piti ajatusta hyvänä ja auttoi sen alkuun laittamisessa. Tarkoitus oli tutkia ja löytää keinoja, joilla pystyttäisiin vähentämään kosteudesta aiheutuvia ongelmia tuotantoprosessin aikana sekä mahdollisesti pienentämään välivarastoinnista aiheutuvaa hukkaa. Työn pohjana oli myös kehittää tuotantoketjua sahatusta puusta asennusvalmiiksi tuotteeksi.

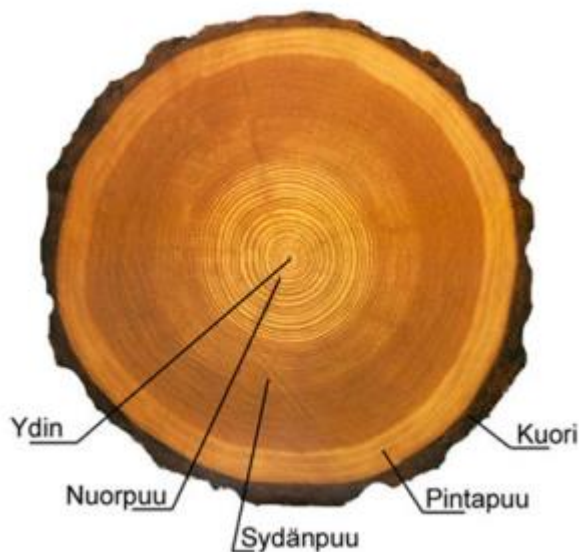
Tutkimustyötä rajattiin puutavaran kuivauksen jälkeiseen kosteuskäyttäytymiseen välivarastoinnin aikana ennen lopputuotteen valmistamista. Käytännössä mittauksissa tutkittiin raaka-aineen normaalin läpimenoajan aikaisia muutoksia sekä verrattiin niitä pitempään varastossa olleiden puutavaroiden kosteuteen. Ketjun loppupäässä tarkasteltiin, miten kosteusmuutokset tutkituissa raaka-aineissa vaikuttavat itse lopputuotteen laatuun.

Mittaustyön ajankohdaksi valittiin syksy, jolloin puutavara on alttiimmillaan kosteusmuutoksille. Mittauksia tehtiin vuoden 2012 loka-marraskuun aikana ja työn tarkastelu on omalta osaltani jatkunut nykyisen toimenkuvani vuoksi näihin päiviin saakka.

Tutkimustyön pohjalta on pystytty tarkastelemaan raaka-aineen optimaalista hyödyntämistä koko tuotantoketjun läpi, niin ettei kosteudesta aiheutuvia ongelmia pääsisi syntymään tuotantoprosessin aikana.

## 2 PUUN OMINAISUUKSIA

Puun rungon sisimpänä osana on ydinkerros, joka sisältää lähinnä tärkkelystä. Sen tehtävänä on varastoida ravintoa tulevaa vuosikasvua sekä oksistoa varten. Rungon alaosassa ydin on kuollutta. Ydinpuun päällä on 10–15 vuosirenkään kokoinen nuorpuu, joka on solurakenteeltaan poikkeuksellinen myöhempiin renkaisiin verrattuna. Nuorpuussa on aina oksia, ja se on alttiimpi halkeilulle. Nämä ominaisuudet tekevät nuorpuusta laadullisesti rungon heikoimman osan. Sydänpuu on rungon osa, joka toimii kantavana pilarina elävälle puulle. Sydänpuun osuus kasvaa puun ikääntyessä. Puun rungossa vesi ja ravinteet siirtyvät juurista latvuksiin pintapuussa eli mannossa. Pintapuun ja sydänpuun raja on vaikeampaa hahmottaa vaaleissa puulajeissa. Tummemmissa puulajeissa, kuten männyssä raja näkyy selkeämmin. Puun solujen rakenne on kaikilla puulajeilla samankaltainen. Eroavaisuuksia on kuitenkin lehti- ja havupuilla solujen muodossa ja järjestyksessä. Solukko voidaan tehtäviensä perusteella jakaa neljään ryhmään; kasvusta huolehtiviin soluihin, ravintoaineista huolehtiviin soluihin, vedenkuljetuksesta huolehtiviin soluihin sekä lujuutta ylläpitäviin soluihin. Solujen välissä olevat soluseinät koostuvat selluloosasta ja hemiselluloosasta, jotka vaikuttavat puun lujuuteen sekä ligniinistä, joka toimii solukossa liima-aineena. (PuuProffa 2016; Kuvio 1.)

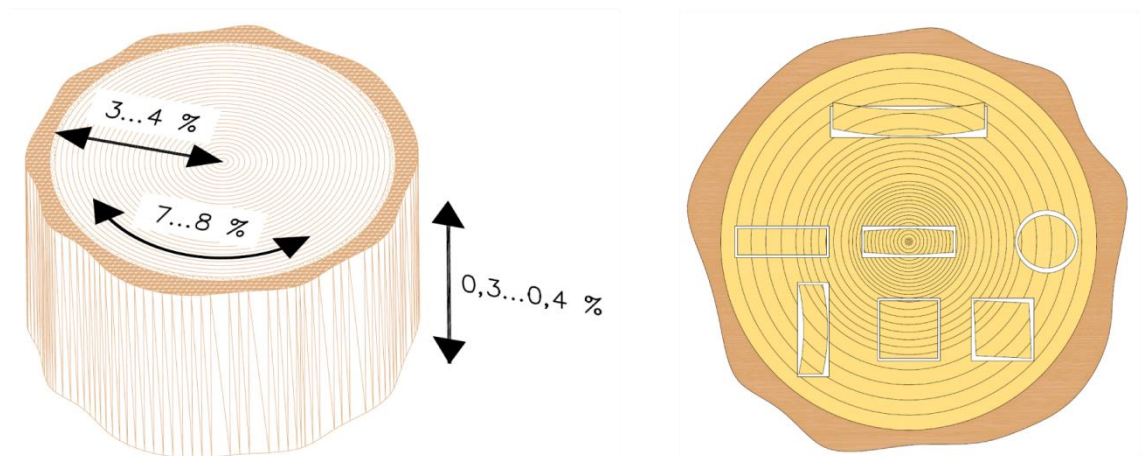


Kuvio 1: Puun rungon pääkerrokset (PuuProffa 2016)

## 2.1 Puun kosteustekniset ominaisuudet

Puu on hygroskooppinen eli vettä imevä aine. Puussa vettä voi olla joko irtonaishana tai soluseinämiin sitoutuneena. Puun kosteudella tarkoitetaan sen sisältämän veden massan ja kuivan puuaineksen välistä suhdetta. Tuoreen puun kosteus vaihtelee yleensä 40–200 % välillä. Puun tasapainokosteudella tarkoitetaan ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden tilaa, jossa puun kosteus pysyy vakiona. Puun kyllästymispiste on tila, jossa soluseinämät ovat täynnä vettä, mutta soluonteloista vesi on haihtunut kokonaan pois. Suomessa kasvavien puulajien kyllästymispiste on +20 °C:ssa noin 30 %. Puun ominaisuuksiin kuuluu kuivuminen, joka aiheuttaa kutistumista. Vastaavasti kosteuseläminen kohti kyllästymispistettä turvottaa puuta, jolloin puu laajenee. Rakennusteknillisesti puun kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta voidaan hyödyntää käyttämällä puuta lämmöneristeenä, joka tasaa kosteuden kulkua rakenteissa. (Puuinfo 2016.)

Kutistuessaan ja laajetessaan puu käyttäytyy eri tavoin säteen, tangentin ja vuosirenkaiden suunnassa. Sydänpuu on aina pintapuuta kuivempaa, mikä yhdessä puun eri suuntiin tapahtuvan kosteuskäyttäytymisen kanssa tekee puun kuivaamisesta haastavaa. Myös puun sisäiset jännitykset voivat aiheuttaa puuhun muodonmuutoksia sen kuivaessa. (Puuinfo 2016; Kuvio 2.)



Kuvio 2: Puun kutistuminen kyllästymispisteestä täysin kuivaksi (Puuinfo 2016)

## 2.2 Puun lujuusominaisuudet

Puun on anistrooppista ainetta, jonka lujuusominaisuudet ovat riippuvaisia siihen kohdistuneen kuorman suunnasta. Puun lujuusominaisuuksiin vaikuttaa moni tekijä, joten ominaisuuksia on vaikea tarkasti määrittää. Eri puulajeilla ominaisuudet vaihtelevat paljon, ja samassa puulajissakin voi olla suuria eroja mm. tiheyden, iän ja kasvuolojen mukaan. Myös kappaleen lujuusominaisuuksiin vaikuttaa se, mistä kohdasta runkoa puu on otettu. (Siikanen 2008, 45. )

### Kimmoisuus

Puun kimmomoduuli on suoraan verrannollinen puukappaleen tiheyden kanssa. Säteen suunnassa se on 1,5–2 kertaa niin suuri kuin tangentin suunnassa. Kuivuessaan puun kimmomoduuli kasvaa suoraviivaisesti. Puurakenteiden taipumat johtuvat useimmiten syiden suuntaisesta kimmoisuudesta. Syiden suunnassa kimmoisuutta on huomattavasti enemmän kuin kohtisuorassa syitä vastaan. (Siikanen 2008, 46.)

### Vetolujuus

Vetolujuuteen suurin vaikuttava tekijä on puun tiheys. Syiden suunnassa vetolujuus on 10–20 kertaa suurempi kuin kohtisuoraan syitä vastaan. Vetolujuuteen vaikuttaa myös kevät- ja kesäpuun suhde kappaleesta. Kuivuessaan puun vetolujuus kasvaa. (Siikanen 2008, 47.)

### Puristuslujuus

Laadultaan hyvän puukappaleen syiden suuntainen puristuslujuus on noin puolet vastaavasta vetolujuudesta. Syitä vastaan kohtisuora puristuslujuus riippuu siitä, kohdistuuko voima koko pinnalle vai osalle siitä. (Siikanen 2008, 47.)

### Taivutuslujuus

Puun taivutuslujuus on yhtä suuri vetolujuuden kanssa silloin, kun kappale on virheetön. Syiden suunnassa lujuus on suoraan verrannollinen puun tiheyteen. (Siikanen 2008, 47.)



### Leikkauslujuus

Puun leikkauslujuus riippuu leikkautuvan tason ja siinä vaikuttavien voimien suunnista puun pääsuuntiin nähden. Leikkauslujuutta vähentävät huomattavasti puun sisäiset viat, kuten halkeamat. (Siikanen 2008, 47.)

### Kulutuksenkestävyys

Puun kovuus kuvastaa yleensä samalla kulutuskestävyyttä. Kovuuden perusteella puulajit voidaan luokitella neljään ryhmään; erittäin koviin-, koviin-, pehmeisiin- ja erittäin pehmeisiin puulajeihin. Suomen yleisimmät puulajit kuuluvat pehmeisiin puulajeihin. Puun kovuutta mitataan joko Brinell- tai Jankakovuudella. Näissä menetelmissä kovuus määritellään teräskuulan puuhun jättämän jäljen perusteella. Kovuus voi vaihdella paljon saman puutyyppin sisällä. (Siikanen 2008, 47–48.)

## 2.3 Puun palotekniset ominaisuudet

Puun palotekniset ominaisuudet rajoittavat sen käyttöä ja soveltuvuutta erilaisiin rakenteisiin. Lämmitettäessä puu pehmenee. Ligniinin ja hemiselluloosan pehmeneminen on riippuvainen puun kosteudesta. Kostean puun pehmeneminen alkaa alemmassa lämpötilassa kuin kuivan. Pehmenemisominaisuuksia käytetään hyödyksi, kun puuta halutaan taivuttaa tai puristaa. (Siikanen 2008, 48.)

Puun syttymiseen tarvittava aika hapen saannin ollessa riittävä on riippuvainen puun lämpötilasta. Lämpötilan ollessa +180 °C aikaa syttymiseen kuluu 15–20 minuuttia. Vastaavasti lämpötilan kohotessa syttymisaika pienenee. Lämpötilan ollessa +430 °C, kuluu syttymiseen aikaa enää puoli minuuttia. Palon aikana puun pinnalle muodostuu hiilikerros, joka hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja samalla hidastaa palamista. Kantavien puurakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa otetaan huomioon palonkesto, kun tunnetaan käytettävän materiaalin palamisnopeus. Palonkylästyksellä voidaan vaikuttaa suunniteltavan materiaalin paloteknisiin ominaisuuksiin. (Siikanen 2008, 48.)

### 3 KOSTEUSTESTA RIIPPUVAISET PUUN BIOLOGISET VAURIOT

#### 3.1 Bakteerit

Ilman kanssa tekemisessä olevassa puun pinnoilla on aina erilaisia itiöitä. Itiöt eivät ole haitallisia, silloin kun puu on kuivaa. Vasta pitkäaikainen puun altistuminen kosteudelle saa itiöt lisääntymään. Biologisten organismien lisääntymisen puussa on lähes poikkeuksetta kiinni ravinnonsaannista, kosteudesta, hapesta ja sopivasta lämpötilasta. (Siikanen 2008, 73–74.)

Bakteerit ovat yksisoluisia tumattomia eliöitä, ja niitä esiintyy lähes kaikissa ajattavissa olevissa oloissa. Useat bakteerit kestävät hyvin kuumia lämpötiloja ja hapettomia olosuhteita. Itiömuodossaan ne voivat kestää myös voimakkaita kemiallisia aineita. (Siikanen 2008, 73–74.)

Puussa bakteerit muuttavat solujen huokoskalvojen rakennetta, jolloin puun läpäisevyys lisääntyy. Maakosketuksessa olevan puun lujuus voi heiketä hitaasti bakteerien vaikutuksesta. Kosteudelle altistuneissa puurakenteissa kasvaa usein bakteereja, jotka aiheuttavat ummehtunutta hajua. Sädesienet kosteilla pinnoilla ovat yleisin bakteerilaji, jotka aiheuttavat hajuhaittoja. (Siikanen 2008, 73–74.)

#### 3.2 Homesienet

Homesienet eivät yleensä vahingoita puusoluja. Homesieniä kasvaa monissa muissakin pinnoissa kuin puupinnoissa. Homesienten kasvu on nopeaa ja ne muodostavat suuria itiömääriä (Kuvio 3). Sienten itiöt ovat näkyviä osia jotka aiheuttavat värihaittoja, kun taas rihmat ja rihmastot ovat värittömiä. Osa homesienilajeista aiheuttaa allergiaa, joiden oireina voi olla kuumeilu, hengitystiesairaudet sekä erinäiset allergiareaktiot. (Siikanen 2008, 74–75.)

Vakavampia vaurioita ja ongelmia aiheuttavat hyvin kosteissa oloissa kasvavat homeet. Kuivemmissä oloissa kasvavat sienet aiheuttavat ongelmia silloin, kun ne pääsevät kasvamaan suoraan seinäpinnoilla.

Homesienten kasvu vaihtelee lajeittain. Optimilämpötila on  $+30$ – $+35$  °C, mutta jotkut lajit pystyvät kasvamaan myös alemmissa lämpötiloissa. Itiöiden pakka-  
sen kestävyys on hyvä. Puussa kosteuspitoisuus voi olla 20–150 % välillä, jolloin rihmastot kasvavat ja muodostavat itiöitä. Tärkein tekijä kasvun kannalta on materiaalia ympäröivän tilan ilman suhteellinen kosteus (RH). Homekasvulle suotuisaa on pitkäaikainen ajanjakso, jolloin suhteellinen kosteus pysyy suurena. Jos lämpötila pysyy korkealla suhteellisen kosteuden ollessa suuri, nopeutuu homeiden kehittyminen materiaaleissa. (Siikanen 2008, 74–75.)



Kuvio 3. Homesienikasvustoa raakaponttilaudoissa

### 3.3 Sinistäjä sienet

Sinistäjät vahingoittavat vain vähäisessä määrin puun pintasolukkoa. Niiden suurin aiheuttama haitta on puun värjäytyminen. Jotkut sienet voivat aiheuttaa katkolahoa. Sinistäjät kasvavat solujen sisällä ja niiden rihmat ja rihmastot värjäävät puuta mustaksi, siniseksi tai ruskeaksi (Kuvio 4). Käsittelemättömään ulkopuoliseen puupintaan muodostuva harmaa väri on sinistäjäsiementen aiheuttama. Siitä ei ole rakenteellista eikä terveydellistä haittaa, vaan pintapuolinen sienikasvusto voi olla jopa suojana puulle ulkopuolisia rasituksia vastaan. (Siikanen 2008, 75–76.)

Sinistäjä sienet tarvitsevat itääkseen vapaata vettä. Puussa kosteus pitää olla 30–150 %, jotta rihmastolla on mahdollisuus kasvaa. Sinistäjäsiemi voi alkaa kasvamaan lämpötilan ollessa -3–+40 °C. Sinistäjäsiementartunnan saanut puu on vaikea kuivata. Märkä sinistynyt puu on myös altis lahottajille. (Siikanen 2008, 75–76.)



Kuvio 4. Roiskevedestä aiheutuneita sinistäjäsiemenen mustaamia lautoja

### 3.4 Lahottajasienet

Lahottajasienen vaikutuksesta puuhun syntyy lahoa, joka pehmentää, heikentää ja usein tummentaa puuainesta. Lahoja esiintyy joko kovana tai pehmeänä. Kovassa lahossa lahoamisprosessi ei ole ehtinyt vielä niin pitkälle, että se olisi pehmentänyt puuta. Pehmeässä lahossa sen sijaan eteneminen on mennyt niin pitkälle, että puu on menettänyt lujuuttaan. (Siikanen 2008, 76–82.)

Lahottajasienet vahingoittavat puun pääasiallisia rakennusosia ja ne muuttavat niiden ominaisuuksia ratkaisevasti. Lahottajasienen vaikutuksesta puun muoto, väri ja koostumus muuttuvat, mikä aiheuttaa lujuusominaisuuksien heikkenemisen. Lahoamisen ensimmäisenä edellytyksenä on riittävä kosteus. Lahottajasienet vaativat kasvaakseen yli 25 % kosteuden. (Siikanen 2008, 76–82.)

Lahottajasienet jaetaan kolmeen lajiin sen perusteella, miten ne vaikuttavat puun soluihin. Sienilajeja ovat ruskolaho, valkolaho ja katkolaho. (Siikanen 2008, 76–82.)

#### 3.4.1 Ruskolaho

Yleisimpiä lahovaurioiden aiheuttajia ovat ruskolahot (Kuvio 5). Sienirihmat kasvavat puun pinnalla ja puusoluissa. Rihmojen tuottamat entsyymit hajottavat selluloosamolekyylejä pienemmiksi osiksi mahdollistaen niiden huuhtoutumisen pois. Jäljelle jäävä ligniini antaa ruskolaholle tyypillisen värin. Sienen vaikutuksesta puu myös kutistuu ja haurastuu. (Siikanen 2008, 76–82.)

Ruskolahottajalajeja on useita. Yleisimpiä rakennuksissa esiintyviä lajeja ovat lattiasieni ja kellarisieni. Lattiasieni on tuhoisin Suomessa esiintyvistä ruskolahottajista. Sieni pystyy muutamassa kuukaudessa vaurioittamaan vakavasti puisia rakennusosia. Kellarisieni on puolestaan tyypillisin rakennuksen kosteissa tiloissa puupinnoilla esiintyvä ruskolahottaja. (Siikanen 2008, 76–82.)

### 3.4.2 Valkolaho

Valkolahottajat ovat sieniä, joiden rihmastot kasvavat puusolujen huokosissa. Siksi ne ovatkin aluksi vaikeasti havaittavissa. Valkolahottajasienet hajottavat puun ligniinejä, selluloosaa ja hemiselluloosaa. Aluksi valkolaho voi muuttaa puun väriä ruskehtavaksi, mutta ajan kuluessa laho vaalenee. Valkolaho pehmentää puuta ja muuttaa sitä kuitumaisemmaksi. Valkolahottajasieniä esiintyy kasvavissa koivu- ja kuusipuissa, sekä eritoten kaatuneissa lehtipuissa. (Siikanen 2008, 76–82.)

### 3.4.3 Katkolaho

Katkolahossa sienirihmat kasvavat puusolujen sisäseinämissä. Sienen aiheuttamat muutokset muistuttavat bakteerien aiheuttamia muutoksia. Puu säilyttää muotonsa ja kovuutensa pitkään. Katkolaho ei muodosta puun näkyvälle pinnalle rihmastoja. Ulkopinnalta puu harmaantuu sekä kuutioituu. Pinnan alta puu näyttää terveeltä, mutta kuormitettaessa kohtisuoraan syitä vastaan, se katkeaa lähes suoraviivaisesti. Katkolahoa esiintyy muun muassa kyllästämättömässä havu- ja lehtipuutavarassa. (Siikanen 2008, 76–82.)



Kuvio 5. Ruskolahottajasienen vaurioittama lankku

## 4 PUUMATERIAALIN KUIVAUS

### 4.1 Puun kosteus ja sen mittaaminen

Sellaisenaan tuore puu ei sovellu juuri mihinkään tarkoitukseen. Erilaisilla kuivaustavoilla voidaan puusta tehdä sopivaa tuotetta eri käyttötarkoituksiin. Puu kuivaa kyllä itsestäänkin tiettyyn kosteuteen, mutta hitaasti. Jos puulla on väärä kosteus sen käyttöolosuhteessa, voi puuhun syntyä pahoja vikoja. Puutavaran kosteuden tunteminen ja sen vaikutukset puun ominaisuuksiin on tärkeä tietää käyttötarkoituksesta riippuen. (Sipi 2006, 114.)

Puun kosteutta ilmaistaan kosteussuhteella ja se määritellään kaavalla:

$$[\text{puun kosteus}] = \frac{\text{puussa olevan veden massa}}{\text{puun kuiva. aineen massa}} \times 100$$

Puun kosteutta mitataan yleisimmin punnituskuivausmenetelmällä tai kosteusmittareilla. Punnituskuivausmenetelmässä puusta otetaan näytepala joka punnitaan. Tämän jälkeen kappale kuivataan absoluuttisen kuivaksi ja pala punnitaan uudestaan. Alkupainon ja kuivapainon erotuksella suhteessa kuivapainoon, saadaan selville puun kosteussuhde. Punnituskuivausmenetelmällä saadaan tarkka tulos, mutta itse menetelmä on hidas. (Sipi 2006, 114.)

Kosteusmittareiden toiminta perustuu yleensä puun sähköisten ominaisuuksien ja kosteuden väliseen riippuvuuteen. Yleisin mittari on vastusmittari, joka mittaa vastusta puuhun lyötävien elektrodien välillä. Tiettyä sähkövastusta vastaa tietty puun kosteus. Puun lämpötila on myös merkityksellinen vastusta mitattaessa, koska lämpötilan ollessa korkeampi, on sähkövastus pienempi. Lämpötilan ja vastuksen välinen riippuvuus pätee puun kosteuden ollessa 7–28 % välillä. Eri puulajit johtavat sähköä eri tavalla, joten mittarit kalibroidaan jokaiselle puutavara-alle erikseen. (Sipi 2006, 114.)

## 4.2 Kuivaamotyypit ja kuivausmenetelmät

Puun kuivaamiseen on kehitelty erilaisia menetelmiä. Kaikkeen kuivaukseen ei ole olemassa yksittäistä kuivaustapaa. Puumateriaalin käyttötarkoitus määrittää sopivimman ja taloudellisimman kuivaustavan. (Puutuoteteollisuus 2016.)

Vanhin sahatavaran kuivaustapa on tapulikuivaus, jossa tuore sahatavara pinoetaan suorakaiteen muotoiseen tapuliin. Kerrosten välissä olevat rimat mahdollistavat ilman kierron tapulissa. Tuulen, auringon lämmön ja nipuissa tapahtuvan ilmankierron vaikutuksesta puu kuivaa. Niin sanottu lautatarhakuivaaminen on kuitenkin ajallisesti pitkäkestoista ja paljolti olosuhteista riippuvaista. (Puutuoteteollisuus 2016.)

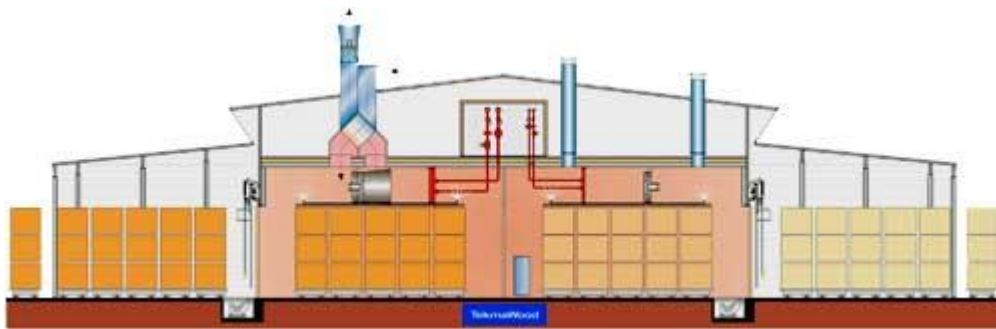
Nykyisin puutavaraa kuivataan pääsääntöisesti lämminilmakuivaamoissa. Kuivaamotyyppejä ovat jaksoittain toimivat kuivaamot, sekä jatkuvatoimiset kuivaamot, eli kanavakuivaamot. Kanavakuivaamoita käytetään yleensä suurilla sahalaitoksilla, joissa tuotetaan paljon samanlaista tavaraa ja kuivausaika halutaan pitää lyhyenä. Kanavakuivaamoissa puu syötetään märkänä kuivaamon toisesta päästä sisään ja puretaan kuivana toisesta päästä ulos. Lämmöllä ja ilmankierrolla kanavissa puu kuivaa haluttuun kosteuteen. (Puutuoteteollisuus 2016.)

Jaksoittain toimivia eli kamarikuivaamoita käytetään paljon puusepän- ja huonekaluteollisuudessa sekä pienemmillä sahalaitoksilla. Kamarikuivaus on sopivin vaihtoehto silloin, kun kuivataan eri puulajeja ja niiden alku- ja loppukosteudet vaihtelevat. Kamarikuivaamon heikkoja puolia on suuri energiankulutus sekä pitkät kuivausajat. (Puutuoteteollisuus 2016; Kuvio 6.)



Lämminilmakuivauksessa käytetään hyväksi ominaisuutta, kun puutavara pyrkii asettumaan ympäröivän ilman kanssa tasapainokosteuteen. Lämpötilaa ja ilmanvaihtoa säättämällä huolehditaan, että ilman olosuhteet vastaavat puun tasapainokosteutta, joka on alhaisempi kuin puun sen hetkinen kosteus. Tällöin puu luovuttaa sisältämänsä vettä ympäröivään tilaan.

(Thomassen 1983, 15.)



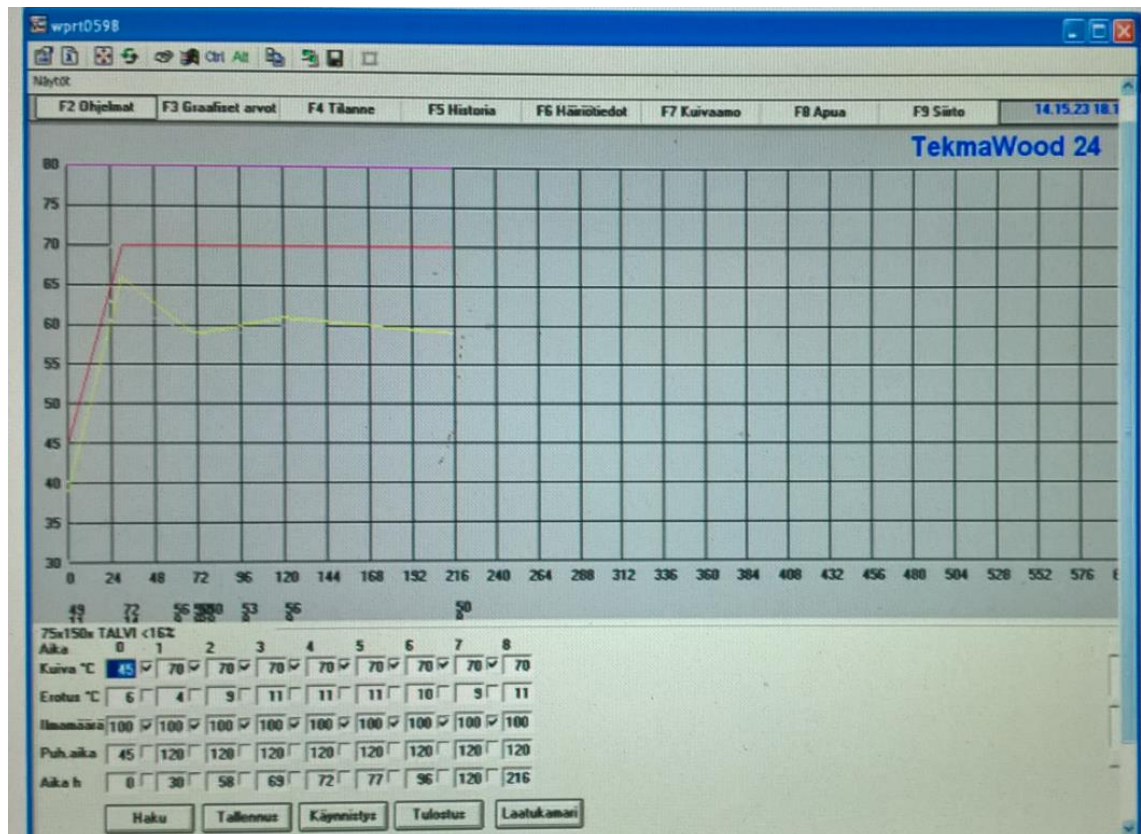
Kuvio 6. Läpiajettava kamarikuivaamo (Puutuoteteollisuus 2016)

Muita käytössä olevia kuivaamismenetelmiä ovat kuumakuivaus, puristuskuivaus, lauhde- eli kondensaatiokuivaus, alipainekuivaus sekä suurtaajuusalipainekuivaus. (PuuProffa 2016.)

#### 4.3 Kuivauskaavat

Kuivauksen lähtöajatuksena, että kuivaus suoritetaan mahdollisimman lyhyessä ajassa kuivattavaa tavaraa vahingoittamatta. Kuivauskaavat ovat kompromisseja, joissa monet vaatimukset sovitetaan yhteen. Kuivauskaavat esitetään yleisimmin aikapohjaisena, jossa kuivausolosuhteet, ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus ilmaistaan ajan funktiona. (Sipi 2006, 129; Kuvio 7)

Kuivattavalle puulajille ja eri sahatavarapaksuuksille laaditaan oma kuivausohjelma eli kuivauskaava. Kaavan mukaan säädetään automaattisesti kuivausilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta kuivauksen aikana. Kuivausaika on riippuvainen puulajista, sen tiheydestä, alku- ja loppukosteudesta, lämpötilasta sekä asetetusta laatutavoitteesta. (PuuProffa 2016.)



Kuvio 7. Esimerkkinä kuivauskaavasta 75\*150 kaava talviolosuhteisiin. Kuivausolosuhteet, ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus kerrottuna ajan funktiona

#### 4.4 Kuivauksen laatu

Puussa kuivauksessa tulevat viat voivat olla näkyvissä heti kuivauksen jälkeen tai viimeistään silloin, kun puuta jatkojalostetaan esimerkiksi sahaamalla tai höyläämällä (Sipi 2006, 131.)

Kuivauslaatu on itsessään laaja käsite, joka muodostuu erinäisten osatekijöiden kautta. Kuivauslaatu voidaan jakaa visuaalisiin ja piileviin laatutekijöihin. Merkittävin tekijä kuivauslaatua tarkasteltaessa on kuitenkin se mikä on kuivattavan tuotteen käyttökohde. (Hukka 2001, 17.)

#### 4.4.1 Visuaaliset laatutekijät

Kuivauslaadun visuaalisista laatutekijöistä yleisin on puun halkeilu, joka aiheuttaa puulle suurimmat laadun- ja arvonalentumiset. Halkeilu johtuu puun kuivumiskutistumisen aiheuttamasta jännitystilasta, eikä sitä voida täysin välttää. Halkeilun välttämiseksi lähtökohta on tukkiraaka-aineessa sekä sahaaseteessa. Kuivausmenetelmä vaikuttaa myös halkeiluun. Halkeilun estämisen kannalta tärkein osatekijä on itse kuivaustoiminta. Oikeanlainen kuivauskaava ja hallitut kuivausolosuhteet vähentävät puussa syntyvää halkeilua. (Sipi 2006, 131; Hukka 2001, 18.)

Puumateriaalin ominainen kuivumiskutistuminen aiheuttaa puuhun muodonmuutoksia. Kupertumiseen, kierouteen sekä syrjä- ja lapevääryyteen vaikuttaa eniten raaka-aine ja sen sahausasete. Kuivaamisessa oikeanlainen rimoitus sekä tasainen loppukosteus ovat muodonmuutosten ehkäisemisen kannalta avainasemassa. Kuivaamisen ajaksi nippujen päälle asetettavat painot vähentävät myös muodonmuutosten syntymistä. (Hukka 2001, 18.)

Pihkavuodot ja värimuutokset aiheutuvat korkeasta lämpötilasta. Pihkan sulaminen alkaa lämpötilan ollessa yli 40 °C. Sulamista esiintyy sitä enemmän mitä korkeampi lämpötila on. Puuhun syntyviin värimuutoksiin vaikuttaa myös puun alkukosteus sekä kuinka pitkään puuta pidetään korkeassa lämpötilassa. (Sipi 2006, 133.)

#### 4.4.2 Piilevät laatutekijät

Kuivauksen piilevillä laatutekijöillä tarkoitetaan niitä kuivaamisessa syntyviä laatuun vaikuttavia tekijöitä, jotka tulevat esiin vasta tuotteen jatkojalostuksessa. Puusta kosteus haihtuu aina puun pinnalta alkaen. Puukappaleen sisäinen kosteusjakauma eli gradientti ei ole koskaan tasainen vaan sisältä puu on aina hieman kosteampaa kuin pinnalta. Käytännössä, jos puu halkaistaan jatkojalostettaessa pystysuunnassa kolmeen osaan, on pintaosat aina kuivempia kuin keskiosa. Puun sisäisiä kosteuseroja voidaan vähentää huolehtimalla tehokkaasta lopputasaannutuksesta. (Sipi 2006, 133.)

Toinen piilevä laatutekijä on sahatavaran taipumus muodonmuutoksiin jatkojalostuksessa, jotka syntyvät sisäisten kuivumiskutistumisen aiheuttamista sisäisistä jännityksistä ja kosteusjakautumisen yhteisvaikutuksista. Esimerkiksi halkaistava lankku on ennen halkaisua suora, mutta halkaistaessa lopputuotteista tulee kieroja jännityksen purkautumisen seurauksena (Kuvio 8). Tasaannutuksella on tärkeä rooli tässäkin piilevässä laatutekijässä, jotta sisäisiä jännityksiä ei puukappaleisiin pääsisi syntymään. (Sipi 2006, 133.)



Kuvio 8. Kosteuseroista johtuvat sisäiset jännitteet purkautuvat halkaistaessa

## 5 PUUTAVARAN VARASTOINTI

### 5.1 Varastoinnin vaikutukset puuhun

Sahatavara on herkkä ulkoisten tekijöiden vaikutuksille. Olosuhteiden muutokset voivat vaurioittaa puuta ja laatu voi kärsiä. Varastointitavan ja -ajan vaikutus sekä suojauksen merkitys puun säilyvyydessä on sen käytettävyyden kannalta ratkaisevassa osassa. (Suomen paperi- ja puutavaralehti 1985, 19.)

Suurin muutosten aiheuttaja on kosteus. Varastoitava tuote tulee olla suojattu sateelta ja maanpinnan kosteudelta. Ilmankosteudella on myös suuri vaikutus sahatavaran kosteuskäyttäytymiseen. Kondensoituva vesi puun pinnalle voi aiheuttaa kosteusvaurioita. (Karhunen ym. 2004, 322–323.)

Puutavara voi myös likaantua pölyn ja sateen yhteisvaikutuksesta varsinkin päällystämättömillä varastokentillä. Likaantuminen aiheuttaa ulkonäöllisiä haittoja sekä ongelmia jatkojalostuksen, esimerkiksi höyläämisen kannalta. (Suomen paperi- ja puutavaralehti 1985, 22.)

### 5.2 Varastoinnista koituvat kustannukset

Varastoinnilla aiheutuu yrityksille aina kustannuksia. Varastointimahdollisuuksien tarve, rakentaminen, ylläpito ja niille tarvittavat vakuutukset tuottavat kustannuksia varastointitilojen kannalta. Varastoinnin hallintaan tarvittavat ohjelmat ja laitteistot lisäävät kustannuksia. Varastoinnin aikana tuotteita monella tapaa käsitellään mistä aiheutuu käsittelykustannuksia. Käsittelykustannuksia ovat esimerkiksi palkka-, kone ja pakkauskustannukset. Itse varastoinnissa tuotteen laatu voi kärsiä ja johtaa arvonalenemiseen. Pahimmassa tapauksessa tuotettu tavara on varastoinnin aikana mennyt käyttökelvottomaksi, mikä aiheuttaa hävityskustannuksia. (Karhunen ym. 2004, 305.)

Sahatavaratuotannossa varastointia tarvitaan koko valmistusketjun tarpeisiin tukkivarastoinnista, tuotannon välivaiheisiin ja lopulta valmisvarastoihin. Varastojen suuruus sahatavaroiden osalta on pitkälti riippuvainen kysynnästä. Kausivaihtelun myötä varastojen koot muuttuvat. Tuotannonohjauksella pyritään hallitsemaan varastoja niin, että turvataan jatkuvan ja häiriöttömän liiketoiminnan mahdollistaminen. Toinen tärkeä tehtävä on pitää varastokoot hallinnassa, ettei yrityksen varoja olisi liialti sidoksissa varastoihin. Puutavaran varastoinnissa arvonaleneminen voi tapahtua nopeasti. Laadullisten tekijöiden heikentymisen myötä käytettävyys tuotantoketjussa huononee ja hävikkimäärä kasvaa. (Anttonen 2016.)

### 5.3 Sahatavaravarastot

Sahatavaraa varastoidaan paketteina, joiden pituudet vaihtelevat 2,7-6 metrin välillä. Sahalta tulevissa paketeissa puutavarat ovat rimanipuissa, joissa välirimat ovat joka kerroksen välissä. Kun puutavara on kuivattu, sahatavara yleensä paketoidaan. Paketoitu sahatavaranippu usein myös suojataan varastointia varten muovikääreellä. (Anttonen 2016.)

Sahatavaraniput varastoidaan aluspuiden päälle torneiksi. Aluspuiden paikka pyritään laittamaan välirimojen kohdalle, jottei vääntyilyä varastoinnin aikana pääsisi tapahtumaan. Etenkin lautatavaroissa rimanippujen alimmat kerrokset ovat alttiita vääntyilylle. Torneissa olevat niput erotetaan toisistaan välikalikoilla. Välikalikan koko on mitoitettu trukkipiikin kokoon, jotta nostot ja siirtely olisi vattomampaa eikä ruhjeita syntyisi. (Anttonen 2016.)

Sahoilla tarvitaan erilaisia varastoja. Niistä tärkeimmät ovat tukkikenttä ja sahatavaravarasto, jotka turvaavat asiakaspalvelun mahdollistamisen. Tukkikenttä on koko sahalaitoksen tärkein pääraaka-aine varasto. Sahatavaravarasto on valmiin lopputuotteen tai jatkojalostuksen raaka-aine varasto. (Suomen paperi- ja puutavaralehti 1985, 5.)



Tukkikentällä sahatavara varastoidaan ulkona. Tukit lajitellaan koon, mittojen ja tukkiluokkien mukaan. Valmiita sahatavaroita voidaan varastoida ulkona tai katetuissa varastoissa. Ulkovarastointia varten kentän tulee olla routimaton ja tasainen. Yksinkertaisimmillaan varaston perustamiskustannukset ovat siis pienet Päälylystämällä ja sadevesiviemäröinnillä varastointialueita, voidaan helpottaa työskentelyä ja turvata sahatavarapakettien laadun säilymistä. (Anttonen 2016; Suomen paperi- ja puutavaralehti 1985, 5.)

Ulkovarastointi sopii parhaiten tuoreelle, kuivaamattomalle sahatavaralle ja lyhytaikaiseen kuivatun sahatavaran varastointiin. Kuivattu tavara on syytä kuitenkin suojata esimerkiksi yksinkertaisella kattorakenteella, joka voidaan nostaa tornin ylimmän nipun päälle (Kuvio 9). Tällöin estetään sade- ja sulamisvesien valuminen tornin lävitse. Laadullisesti arvottomimpia sahatavaroita, joissa ulkonäkövirheet eivät tuota ongelmia säilytetään yleensä ulkovarastoissa. (Anttonen 2016; Suomen paperi- ja puutavaralehti 1985, 5.)



Kuvio 9. Kuivattua sahatavaraa varastoituna ulkovarastoon. Kattorakenteet suojaavat sade- ja sulamisveden valumisen paketteihin

Katetut varastot antavat paremman suojan varastoitavalle puulle. Yleisimmin sahatavaravarastot ovat sivulta avoimia katoksia, halleja tai nosturivarastoja (Kuvio 10). Varastot ovat pääsääntöisesti lämmittämättömiä ja täysin katettuja, teräs-, betoni- tai puurunkoisia rakennuksia. Lämmittämättömien varastojen etuina ovat alhaiset rakentamis- ja käyttökustannukset. (Sipi 2006, 165; Karhunen ym. 2004, 321.)

Lämpimiä varastoja sahatavaravarastoinnissa käytetään vähemmän. Lämmitettäviä varastoja tarvitaan muun muassa silloin, kun raaka-aine sen käyttötarpeen vaatimana halutaan pitää alhaisessa kosteudessa. Lämpimässä varastossa ilman suhteellinen kosteus on myös pidettävä alhaalla, että puu pysyy halutussa kosteudessa. Tällaisia erikoiskuivatuotteita ovat muun muassa jatkuvasti lämpimään tilaan asennettavat lattialaudat. (Anttonen 2016.)



Kuva 10. Sivulta avoimet katokset ovat yleisimpiä varastoja sahatavaratuotannossa



## 6 PUUN KOSTEUS VALMISTUKSESSA JA VALMIISSA TUOTTEESSA

### 6.1 Valmistaminen

Sahatavaran kosteus on merkittävässä osassa tuotteen valmistuksessa. Jalostuksessa puutavaran kosteudesta riippuvaiset ongelmat aiheuttavat tuotannolle kustannuksia. Kosteudesta aiheutuvat laadulliset ongelmat, hukkatyö ja raaka-aineen arvon aleneminen käyttömahdollisuuden muuttumisen myötä, vaikuttavat monessa paikassa tuotantoketjua.

Tuotantoon vaikuttavat kosteusongelmat syntyvät joko puutavaran kuivaamisessa tai varastoinnissa. Kuivaamisessa syntyneet ongelmat ovat peräisin pääsääntöisesti vääränlaisesta kuivaamisesta. Kuivattavan puun kuivauskaava on ollut lopputuotteen kannalta väärä, mikä on voinut aiheuttaa puuhun esimerkiksi muodonmuutoksia tai halkeilua. Varastoinnissa ongelmia syntyy, kun kuivattu puu kastuu ilmankosteuden tai roiskeveden vaikutuksesta. Ensimmäisenä kosteuden muutos näkyy ulkonäöllisten tekijöiden, kuten sinistäjäsiementen ilmaantumisenä puutavaraan.

Raaka-aineessa käyttömahdollisuus yleensä muuttuu varsinkin sisäverhoukseen käytettävillä dimensioilla. Kostuneesta puusta ei voida valmistaa sisäverhoukseen käytettävää listaa tai pontattua puutavaraa, koska höyläysjäljestä ei välttämättä saada tarpeeksi hyvää. Toinen syy on, että kosteasta puusta höylätty profiili kuivuu ja kutistuu työmaalla asennusvaiheessa tai vasta asennuksen jälkeen. Puun kosteusprosentin kasvu vaikuttaa myös puun liimattavuuteen. Kosteaa puu imee huokosiin liikaa liimaa, jolloin saumasta tulee heikko. Liimattavien puiden kosteuserot aiheuttavat lisäksi jännitteitä saumoihin.

Tuotantoketjussa jalostusvaiheita voi olla monia, joten kosteudesta aiheutuvia ongelmia voi ilmetä vasta ketjun loppupäässä. Alkupäässä valmistettava tuote on voinut olla kosteuden kannalta laadullisesti hyvää, mutta puutteellinen välivarastointi ennen ketjun loppupäätä voi pilata lopputuotteen laadun (Kuvio 11).



Kuvio 11. Höylättyä palkkiprofiilia varastoitu suojaamattomana. Sulamisvesi valunut koko nipun läpi ja homesienikasvustot tehneet palkeista käyttökelvottomia

## 6.2 Asentaminen ja laatu

Valmiissa puutuotteessa kosteus on kytköksissä asentamiseen ja asiakaslaatuun. Asennusvaiheessa puutavaran kosteusmuutokset havaitaan pinnan ulkonäöllisinä muutoksina tai puun muodonmuutoksina. Asennuksen ja näkyvän laadun kannalta tärkeää on, että työmaalle tuotu tavara varastoidaan oikealla tavalla. Puutavara tulee olla hyvin suojattuna sade- ja roiskevedeltä. Myös varastoitavien nippujen alle on jätettävä tilaa ilmankierrolle.

Jalostettujen ja höylättyjen puutavaroiden varastoinnissa on pyrittävä siihen, että varastointitapa vastaa niiden lopullista tilaa. Käytännössä työmaan varastointitila ei anna aina tähän mahdollisuutta. Pitkään varastoidut tuotteet joiden kosteusprosentti on päässyt kasvamaan, tulisikin aina ennen asentamista taasaannuttaa riittävän pitkään käytettävässä tilassa. Tällöin vältetään jälkikäteen esiin tulevilta ongelmilta.

Asennusvaiheessa kosteudesta aiheutuvia ongelmia tulee vastaan varsinkin silloin, kun puu on varastoitaessa saanut kosteutta ja on sen jälkeen kuivunut nopeasti. Ongelmat ilmenevät muun muassa sisäverhoustavaroissa listojen kiertumisena ja lautojen kupertumisena. Pahimmillaan puutavara on ehtinyt mennä asennuskelvottomaksi ja työt keskeytyvät korvaavien tuotteiden saapumiseen saakka.

Asiakaslaadun kannalta oikeanlainen, käyttöolosuhdetta vastaava puutavaran kosteus on tärkeää varmistaa asennuksen aikana. Jos puutavara on kostea asennettaessa, voi laadullisia ongelmia ilmetä pitkälläkin aikavälillä. Esimerkiksi vääränlaisessa kosteudessa ollut lattialauta voi alkaa rakoilemaan ponteistaan, kun puu pyrkii tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa. Pitkään ja puutteellisesti varastoitua puutavaraa on voinut muodostua mikrobi- ja homekasvustoja, joiden itiöt voivat asennuksen myötä levitä sisäilmaan. (Kuvio 12).



Kuvio 12. Pitkä varastointiaika tekee puutuotteesta käyttökelvottoman

## 7 TUTKIMUSTYÖ KONTIOTUOTTEELLA

### 7.1 Kosteuden mittaaminen

Työn taustana oli selvittää, miten varastointi vaikuttaa puun kosteuteen ja sen käytettävyyteen teollisessa tuotantoprosessissa. Samalla tarkoitus oli selvittää ja löytää keinoja, miten tuotantoketjua voitaisiin parantaa käyttämällä raaka-aineita tehokkaammin, ennen kuin kosteudesta aiheutuvia muutoksia pääsee syntymään. Sahatavaran jalostustuotteiden laadun merkitys ja sen tasaisuus olivat myös osana tarkastelua asennettavuuden ja asiakastyytyväisyyden kanalta.

Mittaustyö Kontiotuotteella aloitettiin valitsemalla raaka-ainedimensiot, joita sahataan tehtaalla vuositasolla paljon, mutta menekki heilahtelee suuresti kysynnän mukaan. Ensimmäiseksi mitattavaksi kohteeksi valittiin 50\*125 terveoksainen lankku, jota käytetään muun muassa sisäverhouspaneelien- ja listojen raaka-aineena. Toiseksi mitattavaksi kohteeksi otettiin lamellihirren raaka-aineena käytettävä 75\*150 lankku, koska haluttiin verrata eri vahvuisten raaka-aineiden kosteusmuutoksia välivarastoinnin aikana.

Ensimmäinen mittaaminen suoritettiin heti, kun puutavara oli kuivausohjelman mukaan valmiina purkuun. Kamarikuivaamosta tullessiin seurantanippuihin merkittiin numeroilla lankut, joita mitattiin (Kuvio 13). Molemmista dimensiosta otettiin seurantaan yksi kuivattu sahatavaranippu. Kosteuden mittausseuranta suoritettiin Gann Hydromette HT 85 vastusmittarilla, joka oli kalibroitu näytepalojen avulla ennen mittaustyön aloittamista. Mittauslaite oli varustettu Gann M18 mallisella puuanturilla (Kuvio 16). Anturissa käytettiin mittauspiikkeinä 45 millimetriä pitkiä teflonpäälysteisiä teräspiikkejä.

Sisäverhoustavaran valmistamiseen käytettävän 50\*125 lankun kosteuden muutosta varastoinnissa seurattiin tiheämmällä aikavälillä, koska puun käyttötarpeen mukainen kosteusvaatimus oli alempi verrattuna vahvempaan mitattavaan lankkuun. Tällöin pystyttiin seuraamaan, kuinka nopeasti kosteusmuutok-

set etenevät lähelle sallittuja arvoja. Mittaustyön aikana vallinneet sääolosuhteet olivat täydelliset varastoinnissa tapahtuvalle kosteusseurannalle. Ilman kosteusprosentti pysyi koko mittaustyöhön käytetyllä aikavälillä suurena. Sää vaihteli vuorotellen vesisateista räntäsateisiin ja pakkaspäiviin. Ilma oli siis tavanomaisen syksyinen.



Kuvio 13. Seuratun nipun mitattavat kappaleet yksilöitiin

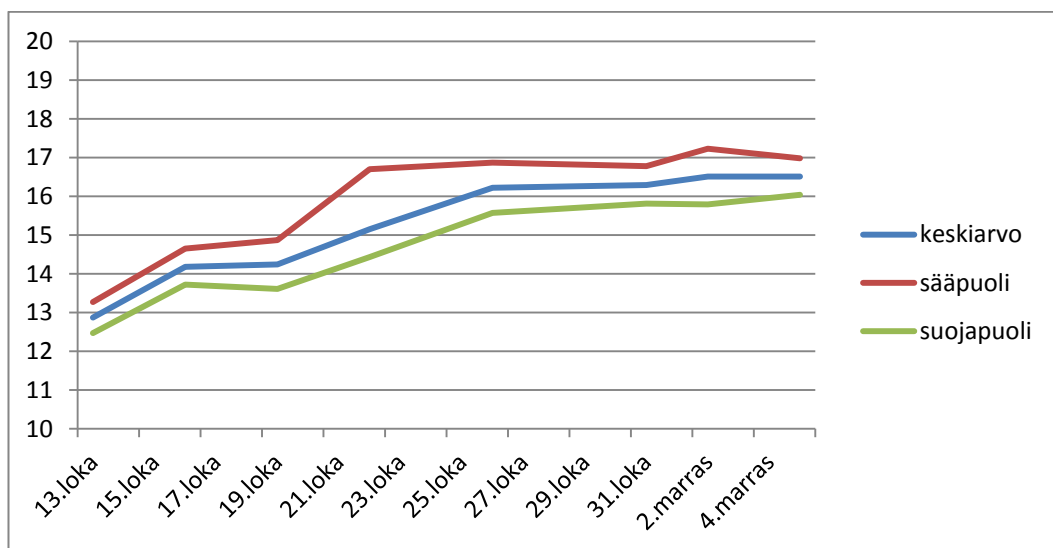
Ennen kosteusmittausta puutavaran lämpötila mitattiin sähköisellä Thermocouple Thermometer K Type lämpötilamittarilla (Kuvio 16). Saadun lämpötilan perusteella valittiin kosteuden mittaamiseen vastusmittarin ohjelma. Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus saatiin tehtaan läheisyydessä olevalta viralliselta mittausasemalta. Mittaustyön tuloksia kirjattiin ylös jokaisena mittauspäivänä. Viimeisenä mittauksena vastusmittareilla tehtyjä mittauksia verrattiin liimauslinjan alkupäässä olevan SaTeKo FMI automaattisen mittauskoneen tuloksiin, kun seurannassa ollut 75\*150 liimahirsiä otettiin valmistukseen (Kuvio 17).



## 7.2 Tulokset

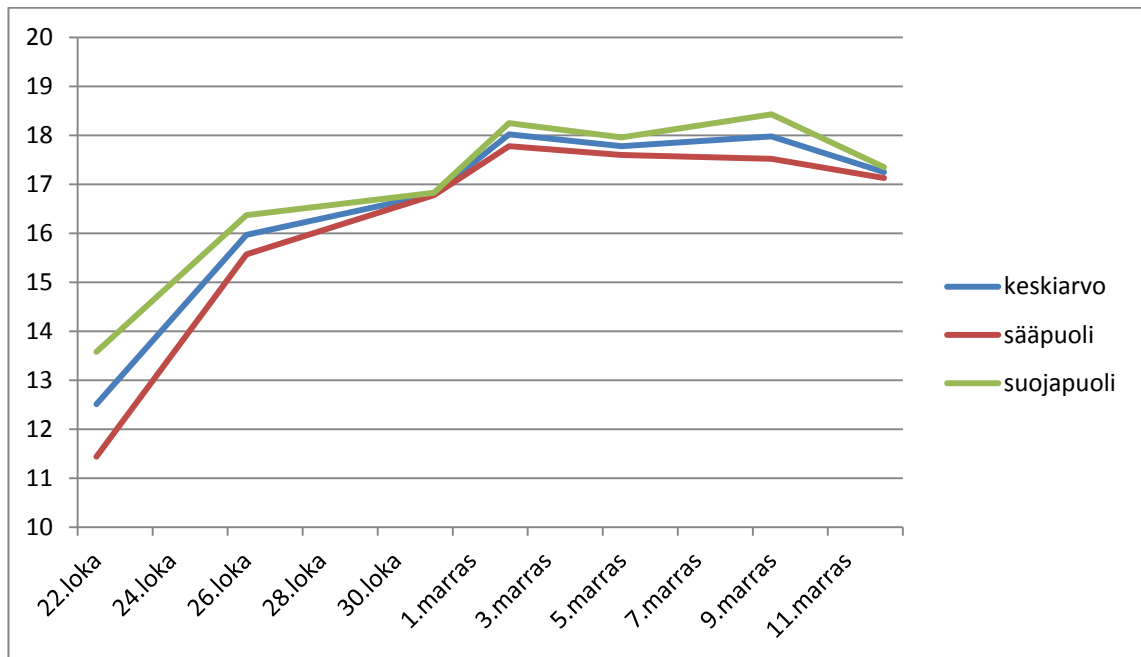
Mittaustyössä saadut tulokset koottiin Excel-tiedostoon (Liite 1 ja Liite 2). Molempien tutkittujen dimensioiden mittaustuloksista piirrettiin kaavio kosteuden kehittymisen havainnoinnin parantamiseksi (Kuvio 14 ja Kuvio 15). Kuivausolojen ero seurantanippujen yksilöidyissä lankuissa näkyi alkukosteuksien ollessa pienempiä niissä kappaleissa, jotka olivat kamarissa sellaisessa paikassa, missä ilmankierto oli tehokkaampaa. Kuivemmat kappaleet ottivat varastoinnin alussa ilmasta kosteutta nopeampaa kuin ne kappaleet, joiden alkukosteus oli suurempi. Mitatuista dimensioista 50\*125 lankun, joka oli kuivattu noin kolmeentoista kosteusprosenttiin, kosteuskäyrä kasvoi hitaammin. Varastossa sääpuolella olleet lankut altistuivat sade- ja roiskeveden vaikutuksille. Suojassa olleen puolen kappaleet olivat koko mittausajan hieman sääpuolella olleita kappaleita kuivempia.

Ensimmäiset visuaaliset kosteusvaikutukset näkyivät nipun alimpien kerrosten tummumisena. Lämpötila pysytteli mittausajan alussa plussan puolella ja ensimmäiset sinistymät näkyivät parin viikon jälkeen. Puutavaran kosteus muuttui kahden ensimmäisen viikon aikana rajuimmin, jonka jälkeen puu oli ilmankosteuteen nähden lähellä tasapainokosteutta. Tämän jälkeen muutos oli vähäisempää ja kosteus mitatuissa kappaleissa pysyi lähes samana.



Kuvio 14. 50\*125 T lankun kosteuden kehitys mitatulla aikavälillä

Liimahirren valmistamiseen käytettävän 75x150 lankun kosteuskäyrä kehittyi jyrkemmin, koska lankku oli kuivattu alempaan kosteuteen kuin 50\*125 T. Kosteuden kehittyminen ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä oli suuri. Mitatuissa kappaleissa kosteus muuttui muutamassa päivässä jopa neljä prosenttiyksikköä. Kosteuden muutos hidastui noin viikon varastoinnin jälkeen ja kahdessa viikossa kehitys pysähtyi.



Kuvio 15. 75\*150 lankun kosteuden kehitys mitatulla aikavälillä

Vastusmittarilla saatuja tuloksia päästiin vertaamaan liimauslinjan alkupäässä olevan SaTeKo FMI automaattimittarin tuloksiin, kun seurantanippu otettiin valmistukseen. Linjalla olevan automaattisen mittausrakenteen mittaustulokset perustuvat materiaalien dielektrisyysmittaukseen, jossa materiaalille määritetään dielektrisyysvakio eli eristevakio. Vakio määräytyy siitä, että miten kondensaattorin kapasiteetti muuttuu suhteessa ilmaeristeiseen kondensaattoriin, jos sen levyjen väli täytetään mitattavalla aineella. Kuivatulla puulla vakio on 2–7, kun se vedellä on 80. Anturit mittaavat kappaleen kosteutta noin 500 kertaa sekunnissa koskettamatta puuta. Mittarin läpi voidaan teoreettisesti syöttää puuta lähes 600 metriä minuutissa.

Ensimmäinen läpiajo tehtiin nipun ollessa kylmä (Liite 3). Vastusmittarilla saadut tulokset olivat yhteneviä automaattimittarin tulosten kanssa.

Puutavaroiden kosteuksien keskiarvo oli noin 17. Toinen läpiajo tehtiin muutama päivä myöhemmin (Liite 4). Kylmä ja jäinen nippu otettiin sisätiloihin sulamaan todellisen valmistusprosessin tapaan. Tällä tavoin ulkovarastoinnissa kertynyt ylimääräinen kosteus nipusta ja niistä johtuneet mittausrvirheet poistuivat. Muutaman päivän kestänyt lämpimässä säilyttäminen muutti tuloksia todellisemmaksi. Hylkykappaleiden määrä putosi ensimmäiseen ajoon verrattuna, koska jäätynyt vesi oli sulanut pois kappaleiden pinnoilta. Tämän vuoksi keski-kosteus putosi hieman, mutta pysyi lähellä vastusmittarilla saatuja tuloksia.



Kuvio 16. Vasemmalla mittaustyössä käytetty Gann HT 85 kosteusmittari anturiineen. Oikealla lämpötilamittari Thermocouple Thermometer K Type



Kuvio 17. SaTeKo FMI automaattinen kosteusmittauslaitteisto



### 7.3 Tulosten tarkastelu

Tutkittaessa puun kosteutta vastusmittarilla, on mittausvirheiden mahdollisuus aina olemassa. Käytetyssä mittarissa lämpötilan valintamahdollisuus oli viiden asteen välein. Mitattu lämpötila piti pyöristää vastusmittaria varten lähintä yksikköä kohden. Mittausvirheiden mahdollisuutta karsittiin suorittamalla mittaus joka kerta samalta alueelta. Mittaussyvyys pidettiin samana maalamalla piikkeihin merkit, kuinka syvältä mittaus suoritetaan.

50\*125 T lankulla kosteuden muutokset mitatulla aikavälillä olivat sitä luokkaa, että varastointiajan, -tavan ja -olosuhteiden vaikutuksesta raaka-aineen käyttömahdollisuudet pienenivät. Sisäverhouspaneelin raaka-aineeksi seurannassa ollut nippu ei enää soveltunut, koska keskikosteus kasvoi yli 16 prosenttiin. Halukaisun jälkeen pintojen kosteuserot olisivat olleet jo sitä luokkaa, että asennuskosteuteen viettäessä höylättyyn paneeliin olisi syntynyt muodonmuutoksia. Vaikka asennus olisi muodonmuutoksista huolimatta onnistunut, olisi profiili valmiissa pinnassa alkanut kutistumaan ja pahimmassa tapauksessa rakoilemaan. Kosteusseurannassa ollut nippu käytettiin lopulta sellaisen tuotteen valmistamiseen, jossa kosteudella ei asennuksen ja näkyvän laadun kannalta ole suurta merkitystä. Hirsilamelliaihioksi käytettävä 75\*150 lankussa kosteus pysyi mitatulla aikavälillä vielä liimaamiselle sopivana. Sääpuolella olevien kappaleiden kosteus pysyi hieman suojapuolella olleita kappaleita alhaisempana, koska niiden lähtökosteus oli kuivaamo-olosuhteiden vuoksi alhaisempi. Liimauksen onnistumisen kannalta puutavarankosteus pitää tehdäalla käytettävälle liimalle olla alle 18 prosenttia. Kovin pidempään ei seurattua puutavarannippua olisi voitu enää ulkona varastoida, sillä kosteuden vuoksi hylkyyn menneitä kappaleita olisi ollut enemmän. Vallitsevat ilmanolosuhteet vaikuttavat siihen voidaanko ulko-varastoinnissa ollut tavara ajaa suoraan liimaukseen vai pitääkö sitä ensin säilöä sisällä. Kosteudesta aiheutuvia ongelmia olisi voinut molemmissa tutkituissa dimensioissa korjata varovaiselle uudelleen kuivauksella. Tuotannollisesti ja taloudellisesti uudelleen kuivaus ei ole kuitenkaan aina kannattavaa eräkokojen ollessa suuria kuivausresurssiin verrattuna.

## 8 POHDINTA

Puutavaratuotannossa valmistettavan tuotteen laatu on lähes täysin sidoksissa käytettävän materiaalin laatuun. Valmistuksen ja jalostamisen kannalta raaka-aineiden laatu täytyy olla kunnossa, jos itse lopputuotteesta halutaan hyvä. Teollisessa tuotannossa sahatavaran laatu määräytyy sahattavasta puusta, sahauksen jälkeisestä lajittelusta, sahatavaran kuivaamisesta sekä sen varastoimisesta. Kun ketju on kokonaisuudessaan toimiva, on puutuotteen valmistaminen tuotannollisesti ja taloudellisesti kannattavaa ja tehokasta.

Teollisessa sahatavaratuotannossa tuotannonsuunnittelulla on tärkeä asema, jotta tuotanto ja sen toiminta kulkevat käsi kädessä. Tuotannonsuunnittelun lähtökohtana on, että pystytään vastaamaan markkinoiden kysyntään. Tieto myynnistä ja myyntityöntekijöistä ohjaavat tuotannon toimintaa. Tuotannossa on näiden tietojen perusteella selvitettävä, mitä dimensioita kulloinkin pitää sahata, kuinka paljon sahataan sekä milloin sahatut tuotteet kuivataan, jatkojalostetaan ja lähetetään. Hallitulla ja tarkoin suunnitellulla ketjun kululla hukkatyön ja hävikin määrää voidaan vähentää jokaisessa osassa prosessia. Kustannustehokkuus syntyy näistä tekijöistä. Ketjun toimivuus heijastuu myös itse rakentamiseen ja asiakaslaatuun.

Valmistuksen ja lopputuotteen laadun kannalta puutavaran kosteus on suuressa roolissa. Suurimmat kosteuteen vaikuttavat tuotannonvaiheet ovat kuivaaminen ja varastointi. Kuivaamisen onnistuminen on monen osatekijän summa ja siihen tarvitaan paljon tietoa sekä käytännönkokemusta puun ominaisuuksista ja sen muutoksista. Varastoinnin vaikutus on puutavaran tuotannossa ainakin yhtä suuressa roolissa kuin kuivaamisella. Varastoinnin kierto, tapa, aika ja vallitsevat ilmanolosuhteet vaikuttavat puun kosteuteen eri tavalla eri vuodenaikoina.

Opinnäytetyössä pääpaino oli puun kosteuskäyttäytymisen seuraamisella varastoinnissa. Tutkimuksen ajankohdaksi valittiin tarkoituksella sellainen vuodenaika, jolloin varastoinnin vaikutukset puussa näkyvät parhaiten. Työn tulokset tarkensivat sitä käytännön tietoa, mitä yrityksellä oli ennen tutkimustyötä.

Suurpiirteinen tieto voitiin tulosten pohjalta laskea päiviksi ja nähdä, mitä kuiva-  
tulle puulle tapahtuu varastoinnissa. Varsinkin ensimmäisten kuivauksen jälkeis-  
ten päivien mittaustulokset kosteuskehittymisestä koettiin hyödylliseksi myös  
kuivaamista varten. Vallinneissa ilmanolosuhteissa tutkitun puun kuivausaika oli  
käytännössä turhan pitkä ja merkityksetön, koska alhaisempaan kosteuteen  
kuivattu tavara oli viikon varastoinnin myötä samassa kosteudessa kuin korke-  
ampaan kosteuteen kuivattu tavara.

Mittaustyö oli itsessään lyhyt katsaus puutavaran kosteuskäyttäytymiseen.  
Suhteessa pieni otanta suureen tuotantomäärään nähden on kuitenkin avannut  
näkökulmia puussa esiintyvistä kosteusongelmista, niiden hallinnasta ja mah-  
dollisista vaikutuksista tuotantoprosessin vaiheisiin ja itse tuotteen laatuun. Tut-  
kimuksen jälkeen on voitu tarkastella tehtaan varastoinnin toimivuutta ja etsiä  
mahdollisia kehityskohteita kosteudesta aiheutuvien ongelmien ehkäisyyn. Pus-  
kurivarastojen kokoon, jotka käytännössä turvaavat tuotannon toiminnan, on  
työn jälkeen tehty muutoksia. Ennakoivalla varastosaldojen tarkastelulla teh-  
taansisäisessä toiminnassa, on pystytty ohjaamaan sahausta sellaisiin tuottei-  
siin, joiden menekki on tiedossa.

Teoreettisen tutkimustiedon ja käytännöntutkimusten avulla suomalaista puu-  
tuoteosaamista vahvistetaan. Vaikka kerättyä tietoa onkin paljon saatavilla, on  
uusille tutkimuksille tarvetta. Erityisesti silloin, kun puutuotteita kehitetään sopi-  
viksi uusien käyttökohteiden tarpeisiin.

## LÄHTEET

Anttonen, T. 2016. Kontiotuote Oy. Tuotantopäällikön haastattelu 11.11.2016.

Hukka, A. 2001. Kuivauksen laatu on muutakin kuin halkeilua. Puumies 6/2001, 17–19.

Karhunen, J., Pouri, R. & Santala, J. 2004. Kuljetukset ja varastointi – järjestelmät, kalusto ja toimintaperiaatteet. Helsinki: Suomen logistiikka yhdistys ry.

Puuinfo 2016. Viitattu 14.10.2016

<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

PuuProffa 2016. Viitattu 20.10.2016

[http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/7/kuivaus/kamarikuivaamo](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/kuivaus/kamarikuivaamo)

Puutuoteteollisuus 2016. Viitattu 25.10.2016

<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/index.html>

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Tampere: Rakennustieto Oy

Sipi, M. 2006. Sahatavaratuotanto. Helsinki: Edita Oy

Suomen paperi- ja puutavaralehti Oy. 1985. Sahatavaran varastointi, lähetys ja laivaus. Myllykoski: Anson Oy

Thomassen, T 1983. Kuivaamonhoitajan pieni käsikirja. Glostrup: Lundgren & Andersen

## LIITTEET

- Liite 1. Kontiotuote Oy, 50\*125 T mittaustulokset
- Liite 2. Kontiotuote Oy, 75\*150 mittaustulokset
- Liite 3. Kontiotuote Oy, 75\*150 ensimmäinen automaattimittaus
- Liite 4. Kontiotuote Oy, 75\*150 toinen automaattimittaus

## LIITE 1

[illegible]

## LIITE 2

materiaali	75*150						
pvm	22.loka	26.loka	31.loka	2.marras	5.marras	9.marras	12.marras
puu C	50	0	0	0	0	-5	0
ilma C	-4	-3	-3	2	2	-5	20
ilmankost.	90 %	93 %	95 %	90 %	89 %	92 %	
puu nro	kosteus						
1	13	15,8	16,4	17,2	18,4	18,5	18,5
2	13,1	15,7	15,9	17,7	17,6	18,1	15,7
3	14,2	16,1	17,4	19,1	18,9	20,1	17,5
4	14,3	16,7	16,9	17,6	18,1	17,9	16,9
5	13,8	16,8	17,3	18,4	18,4	18,8	17,2
6	13,2	16,7	17,1	18,9	18,9	19,3	17,8
7	12,7	15,6	16,4	17,6	17,1	17,4	16,5
8	13,5	16,3	17	19,2	17,7	18,7	17,9
9	12,8	16	15,9	17,6	16,9	17,1	16,5
10	14,5	17,3	17,1	18,9	18,5	19,2	18,5
11	14,8	17,8	18,7	20	19,1	19,9	19,9
12	14	17	17,5	18,6	18,2	18,3	17,4
13	12,7	15	15,2	16,5	15,7	16,4	15,3
14	10,3	13,7	15,2	15,8	15,8	15,3	15,4
15	12,3	16	16,5	18,8	18,5	18,4	18,1
16	11	14,6	15,7	17,5	16,9	16,4	15,5
17	10,7	14,9	15,6	17	16,7	16,8	16,8
18	11,6	15,3	15,7	17,7	17,4	17	15,3
19	11,4	15,8	17,2	18,3	18	18,1	17,2
20	12,5	16,4	17,9	18,7	18,7	18,7	18,1
21	11,2	15	17,2	17,7	17,2	17,2	18
22	11,4	16	17,1	17,8	17,1	17,1	15,6
23	11,3	16,2	17,4	18	17,8	18,2	17,6
24	12,2	16,6	18,3	18	18,6	18,6	18
25	12	16,9	18	18,9	19,1	19,2	19,6
26	10,8	15	16,4	16,9	17	16,8	17,6
ka yht	12,51	15,97	16,8	18,02	17,78	17,98	17,25
ka suojapuoli	13,58	16,37	16,83	18,25	17,96	18,43	17,35
ka sääpuoli	11,44	15,57	16,78	17,78	17,6	17,52	17,13
puut 1-13 kuivaamossa sisäpuolella (alkukosteus suurempi), ja varastossa suojassa							
puut 14-26 kuivaamossa ulkopuolella (alkukosteus pienempi), ja varastossa säätä vasten							

# LIITE 3

09-11-12 14:25:01 TILASTOT :

TUOTE : 4  
 NIMI : 75X150  
 PAKSUUS : 75  
 LEVEYS : 150  
 OMINAISPAINO : 500  
 KAYTTAJA INFO 1 : JOU  
 KAYTTAJA INFO 2 : 20012011  
 MINIMIAVARVO : 9.0  
 MAXIMIAVARVO : 18.0  
 MERKINTA : KESKIAVARVO  
 KORJAUS Ax+B : 1.00 0.00  
 MITTAUS TAPA : NORMAALI MITTAUS

< 08	:	0 %	0
08-09	:	0 %	0
09-10	:	0 %	0
10-11	:	0 %	0
11-12	:	0 %	0
12-14	:	3 %	3
14-16	:	20 %	18
16-18	:	49 %	44
18-20	:	28 %	25
> 20	:	0 %	0

KOKO	:	90
KESKIAVARVO	:	16.99
STD	:	1.36



13-11-12 12:01:31 TILASTOT

Toruisen  
Koenippu

TUOTE : 4  
NIMI : 75X150  
PAKSUUS : 75  
LEVEYS : 150  
OMINAISPAINO : 500  
KAYTTAJA INFO 1 : JOU  
KAYTTAJA INFO 2 : 20012011  
MINIMIAVARVO : 9.0  
MAXIMIAVARVO : 18.0  
MERKINTA : KESKIAVARVO  
KORJAUS Ax+B : 1.00 0.00  
MITTAUS TAPA : NORMAALI MITTAUS

< 08	:	0 %	0
08-09	:	0 %	0
09-10	:	0 %	0
10-11	:	0 %	0
11-12	:	0 %	0
12-14	:	2 %	2
14-16	:	33 %	29
16-18	:	56 %	50
18-20	:	9 %	8
> 20	:	0 %	0

KOKO : 89  
KESKIAVARVO : 16.51  
STD : 1.14

Puun lämpötila

13.9 °C

Mitattu satelkon  
mittarilla Puun sisältä